生态安全视角下乌鲁木齐市土地利用冲突时空格局演变分析

彭 娅[1]， 王娟娟[2]， 王珊珊[3]， 田柳兰[1]， 刘 婕[1,4]， 毋兆鹏[1,4]

（1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院，新疆 乌鲁木齐 830054；2. 昌吉回族自治州自然资源局，新疆 昌吉 831100；3. 新疆艺术学院附属中等艺术学校，新疆 乌鲁木齐 830054；4. 新疆干旱区湖泊环境与资源实验室，新疆 乌鲁木齐 830054）

摘 要：从生态安全角度识别区域土地利用冲突，处理好城市发展和土地利用的协调关系，对实现区域可持续发展尤为重要。在土地利用冲突理论分析框架和"压力-状态-响应"（PSR）模型下，借助生态系统服务价值和生态风险评价因子构建了一个土地利用冲突测度模型，对2000、2010年和2020年乌鲁木齐市土地利用冲突的时空演变格局分析方法，并且利用FLUS模型对2030年土地利用冲突变化进行模拟预测。结果表明：（1）2000—2020年，乌鲁木齐市73%以上的面积是无冲突和轻度冲突区域。土地利用冲突的热点区由乌鲁木齐中心城区北部及西南地区蔓延至其南部及北部的山区林地周边、达坂城区盐湖两边的冲积扇附近，分布范围有所扩大；冷点区主要聚集于中心城区周边以及东、南部的山区林地范围内。（2）气候、地形地貌等自然因素仍是土地利用冲突强度空间分异的主导因素。（3）生态系统服务价值与土地利用冲突之间存在空间正相关，而生态风险与土地利用冲突之间则存在显著的空间负相关关系。（4）2030年，虽然乌鲁木齐市的土地利用高度冲突区增幅最大，但无冲突、轻度冲突区仍居于优势地位。研究结果为乌鲁木齐市土地利用冲突提供了一个诊断指标体系和方法，这对于深度了解乌鲁木齐市土地利用冲突时空演变特征以及冲突机理提供了例证和科学支撑。

关 键 词：土地利用冲突；生态系统服务价值；生态风险；FLUS模型；乌鲁木齐市

文章编号：1000－6060（2024）01－0081－12（0081～0092）

在21世纪，人类共同的目标是在全球范围内实现社会经济的可持续发展[1]。然而，土地利用冲突已成为土地可持续利用的主要障碍，引起了许多国家的广泛关注[2-3]。"冲突"一词起源于西方社会学[4]，它代表了2个或多个社会单位的不兼容或相互排斥，从而导致心理或行为矛盾的产生，随着人类活动之间矛盾的加剧，学者们在资源利用领域引入了冲突，并提出了土地利用锲约的概念[5]，而土地契约的本质是以土地冲突为形式的利益冲突[6-7]。由此，学者们对土地利用冲突概念及驱动因素进行大量研究，从而产生大量观点[8]。20世纪60、70年代，土地利用冲突研究有了现代意义，由于世界各国土地资源的稀缺性而导致土地利用冲突发生频繁，尤其是在拥有不均等资源的发展中国家和工业化过度化的国家[9]。土地利用冲突作为内部因素和外部因素共同作用的结果，土地资源的多适宜性和有限性是其根源[10]，城市扩张和人类需求增长等社会因素是冲突发展的主要驱动力[11]。

近几年，土地利用冲突在研究内容上主要集中在概念、产生的原因及其诊断与评价的理论层次，实际应用研究相对不足，缺乏对综合评价区域土地利用冲突的强度、揭示引起冲突的内在演化机理和

收稿日期：2023-06-06； **修订日期**：2023-07-22

基金项目：新疆维吾尔自治区高校科研基金项目（XJEDU2021I021）；国家自然科学基金项目（41761113）资助

作者简介：彭娅（1998-），女，硕士研究生，主要从事空间信息分析与应用研究. E-mail: 107622022210582@stu.xjnu.edu.cn

通讯作者：毋兆鹏（1976-），男，博士，教授，主要从事3S技术与绿洲资源开发研究. E-mail: wuzhaopengxj@sina.com

对未来土地利用冲突的模拟预测的研究[12];对于生态安全的研究主要是人类社会经济发展与生态保护之间的协调关系,强调自然生态系统的保护与优化利用以实现人类社会可持续发展[13],生态安全基于"压力-状态-响应"(PSR)模型和生态系统构建指标体系,主要侧重生产和生活功能的协调度,但从生态安全的角度深入分析生态安全与土地利用冲突的耦合关系、土地利用冲突演化机制研究较少[14]。因此,以生态安全为切入点,在生态安全视角的基础上展开土地利用冲突问题的讨论十分有必要;在研究方法上,主要有参与式调查法[15]、PSR模型[16]、景观生态风险[17-18]、评价博弈论[19]和多目标规划法[20-21]等;在研究对象上,多关注于经济发达和人口密集的沿海地区[22],对干旱地区的绿洲城市的研究相对较少。

随着"十四五"时期乌鲁木齐市都市圈的大力推进,急需协调城市发展、绿洲农业及生态环境三者之间多重关联的涨落过程及耦合机制[21],因此,本文从生态安全视角构建土地利用冲突测度方法体系,选取生态安全视角下的生态系统服务价值体系和生态风险指标与土地利用冲突进行叠加响应,剖析乌鲁木齐市土地利用冲突时空演变,模拟乌鲁木齐市未来不同情景下土地利用冲突空间格局,对乌鲁木齐市为保障区域生态安全、协调生态保护与经济社会发展具有重要理论意义与现实意义,也补充了土地利用冲突相关研究,拓展和丰富了土地利用变化科学的研究内容与应用范围。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

乌鲁木齐市(43°40′~44°50′N,87°10′~88°55′E)地处亚洲内陆,位于天山山脉北麓。乌鲁木齐市位于中国西北部,属于典型的干旱区绿洲城市,地貌类型复杂多样,植被稀疏,降雨量较少,生态环境脆弱。根据第七次全国人口普查结果,2020年乌鲁木齐市辖7区1县,总面积约为1133.6 km²,常住人口约为258.52×10⁴人,相比2010年增加40.39×10⁴人,人口密度达2278人·km⁻²。随着乌鲁木齐市城市化和城市人口的快速增长,城市土地利用模式迅速改变,对生态环境产生了多方面且各具影响程度的影响。乌鲁木齐市作为一个城市化进程加速的代表,为满足人类居住和发展需求,不可避免地需要不断利用更多的土地资源。然而,这一过程也加剧了生态环境保护与绿洲土地利用之间的矛盾和冲突(图1)。

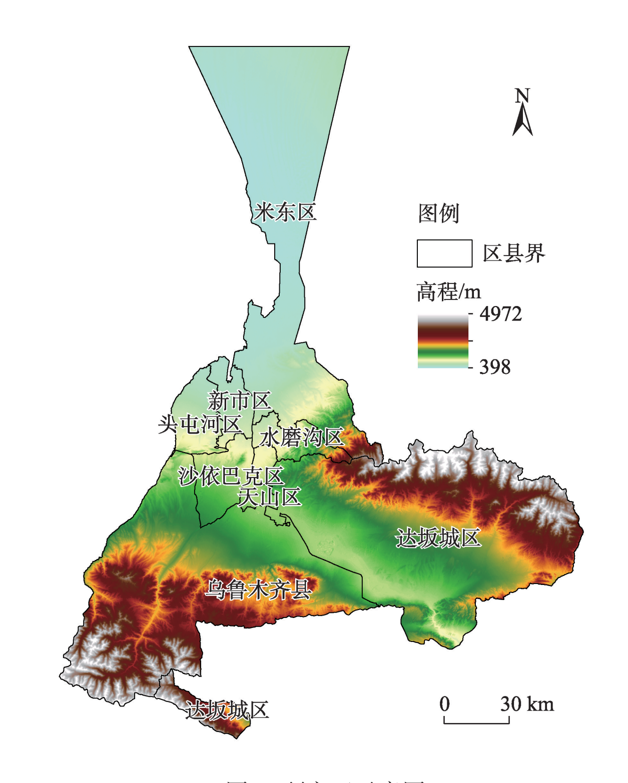


图1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

1.2 数据来源

本研究选取特征明显的2000年(严格保护耕地)、2010年(实施生态保护)和2020年(实施生态保护后)3期影像,所使用的空间遥感数据来源于中国地理空间数据云(http://www.gscloud.cn),其中2000、2010年使用Landsat-5 TM数据,2020年为Landsat 8 TM数据,图像空间分辨率30 m,3期数据含云量均低于5%;高程(DEM)数据源自中国地理空间数据云(http://www.gscloud.cn),空间分辨率为30 m;坡度(slope)数据在高程数据上获取。本研究选取的行政界线、道路、区县行政中心等数据主要来源于乌鲁木齐市矢量图层中;GDP、人口、粮食产量和粮食价格数据主要由《乌鲁木齐市统计年鉴(2000—2020年)》《乌鲁木齐市国民经济和社会发展统计公报(2020年)》《新疆统计年鉴(2020年)》《2020年全国农产品成本收益资料汇编》获得。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用冲突测度模型构建 生态安全视角下的土地利用冲突,主要表现为在人类剧烈活动下

耕地、建设用地与生态安全空间之间错配重叠导致的矛盾和空间竞争。利用景观生态下的PSR模型及其扩展模型，可评价具有复杂性的环境问题、资源安全问题及土地可持续性问题等。它能够结合模糊数学方法，建立土地生态系统的评价标准，分析影响系统各要素之间的因果关系，监测各指标之间的连续反馈机制，具有系统性、综合性的特点，是寻找人类活动与生态系统影响之间因果链的有效途径，因而可以诊断由土地利用压力而引起的土地生态系统的状态和响应，可以用来分析土地利用冲突问题。

土地利用冲突指标体系主要由以下要素组成：PSR模型中的压力(P)，是指土地资源开发利用的强度及其变化趋势，是由人文因素带来的对耕地生态环境的冲击和胁迫。作为土地利用冲突的主要外因及风险源，可以借助土地利用干扰度指数，来表示土地景观抵抗外界干扰能力和自我恢复能力，以表达土地系统所受到的外部压力。PSR模型中的状态(S)，作为反映土地生态环境要素变化的参数，可借助脆弱性指数来表达其由于缺乏适应环境和社会变化的能力，而导致自身受到损害的一种状态[23]。PSR模型中的响应(R)，主要反映社会或个人为停止、减轻、预防或恢复不利于土地生态系统变化所采取的措施。从土地利用系统的角度看，稳定性指数既体现了在系统生产的一致性和连续性[24]，也体现了系统状态或空间形态的连续性与遗传性或继承性(图2)。

因此，本研究在该模型的指导下，结合乌鲁木齐市资源环境特征，确定从系统干扰度指数(F_{AWMPFD})、脆弱度指数(F_{FI})及稳定性指数(F_{SI})3方面构建土地利用冲突综合指数(F)[25]，提出一套综合评价方法，计算结果需标准化处理至(0, 1)范围内。计算公式如下：

$$F = F_{\mathrm{AWMPFD}} + F_{\mathrm{FI}} - F_{\mathrm{SI}} \tag{1}$$

其中，土地利用干扰度指数(F_{AWMPFD})的大小表示景观干扰对景观单元影响的程度，数值越大影响程度越深，计算公式如下：

$$F_{\mathrm{AWMPFD}} = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left[\frac{2\ln(0.25P_{ij})}{\ln a_{ij}} \times \left(\frac{a_{ij}}{A}\right)\right] \tag{2}$$

式中：P_{ij} 为第 i 类土地利用类型第 j 个斑块的周长(km)；a_{ij} 为第 i 类土地利用类型第 j 个斑块的面积(km^2)；A 为区域单元内所有土地利用类型面积(km^2)；m 为土地利用类型总数；n 为区域单元内斑块总数。

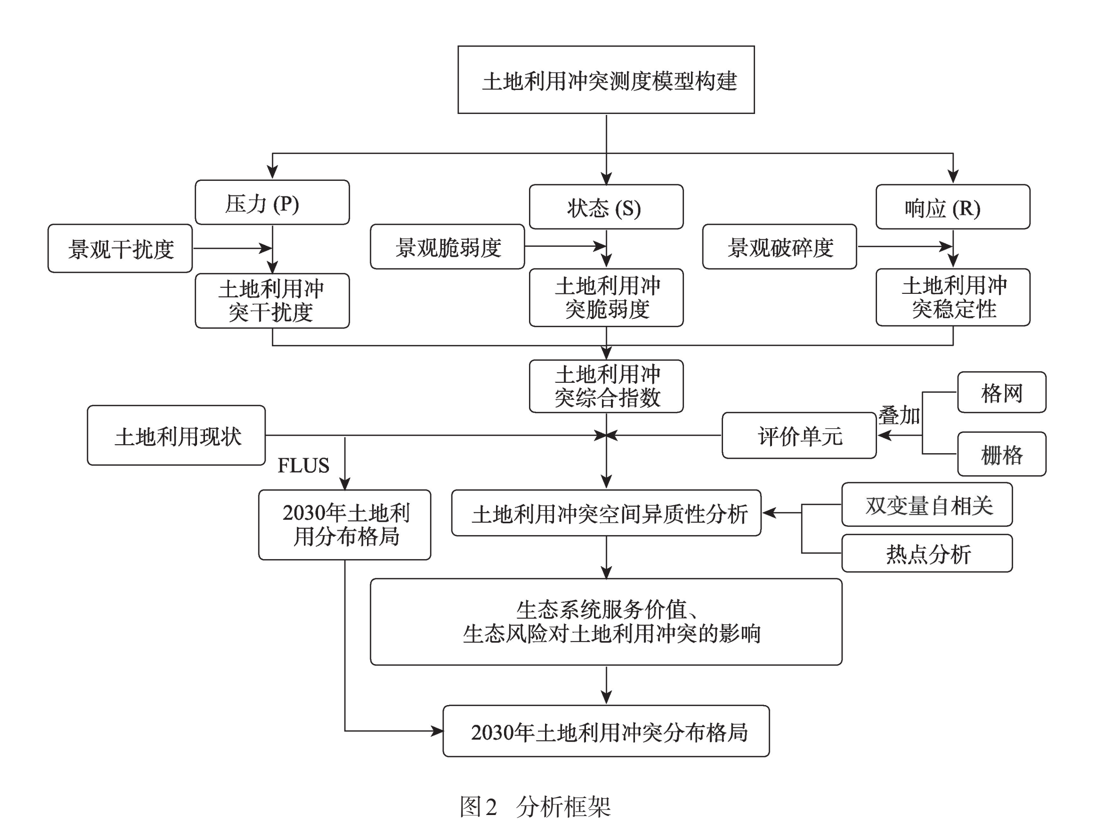


图2　分析框架

Fig. 2　Analytical framework

土地利用脆弱度指数(F_{FI})的大小表示空间斑块受外界压力影响的程度,数值越大影响程度越深,土地利用冲突越大,计算公式如下:

$$F_{FI} = \sum_{i=1}^{m} F_i \times \frac{a_i}{A} \tag{3}$$

式中:a_i 为区域单元内第 i 类土地利用类型的面积(km^2);F_i 为区域单元内第 i 类土地利用类型的脆弱度;A 为区域单元内所有土地利用类型面积(km^2);m 为土地利用类型总数。建设用地、未利用地、水域、耕地、草地、林地的脆弱度赋值分别为6、5、4、3、2、1[26]。

土地利用稳定性指数(F_{SI})的大小表示空间单元稳定性的强弱,数值越大影响程度越强,土地利用冲突越显著,计算公式如下:

$$F_{SI} = 1 - PD = \left(1 - \frac{n_i}{A}\right) \tag{4}$$

式中:PD为斑块密度(个·km^{-2});A 为区域单元内所有土地利用类型面积(km^2);n_i 为区域单元内第 i 类土地利用类型的斑块数目。

1.3.2 土地利用冲突空间分布预测模拟 为获取预测年份2030年的土地利用空间分布特征,本文借助FLUS模型完成。该模型是基于神经网络(ANN)的出现概率计算和自适应惯性竞争机制的元胞自动机(CA)2个模块构成[27]。首先,选取一期土地利用数据结合地理探测因子,利用ANN整合并计算各地类在每个像元上出现的概率,得到各地类的发展概率;其次,基于轮盘赌选择的竞争机制获得乌鲁木齐市预测年份土地利用类型模拟预测图。本研究中,模型所选取的因子包括高程、坡度、距河流距离150 m、距区县距离150 m、距道路距离150 m、GDP和地均人口(图3、图4)。

通过对2000年和2010年土地利用现状图的数据处理,采用FLUS模型模拟计算出2010年和2020年的土地利用空间分布状态。将模拟结果与实际土地利用现状数据进行分析,模型精度分别为0.87、0.89,Kappa系数分别为0.73、0.75,模型模拟结果的精度可以满足本文研究的需要。

1.4 土地利用冲突环境效应评价体系构建

1.4.1 生态系统服务价值评估 以谢高地等[28-29]的研究成果为基础,选取小麦、水稻、玉米三大粮食主产物计算农田生态系统的粮食产量价值,获得标

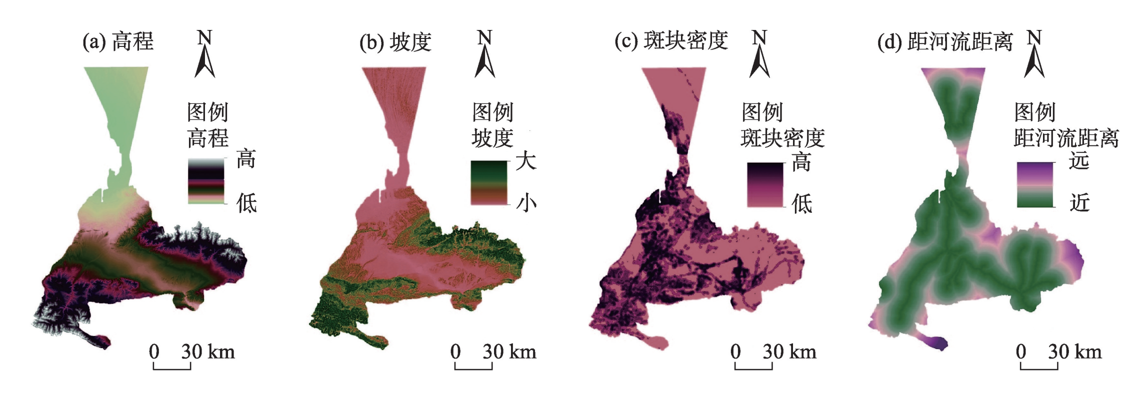


图3 自然因子空间分布

Fig. 3 Spatial distributions of natural factors

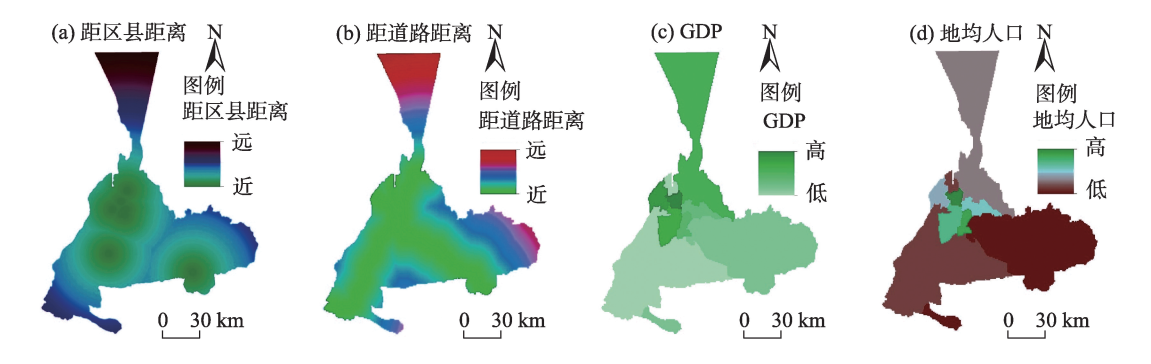


图4 社会因子空间分布

Fig. 4 Spatial distributions of social factors

准生态系统服务价值当量因子价值量为24.5033×10^4元·km^{-2}。并参考前人研究[21]获得新疆的修正因子为0.58，修正后的乌鲁木齐市标准生态系统服务价值当量因子价值量为14.702×10^4元·km^{-2}。最终得到乌鲁木齐市各土地利用类型单位面积生态系统服务价值系数（表1）。生态系统服务价值计算公式如下：

$$ESV=\sum_{i=1}^{n}(A_k \times VC_k) \quad (5)$$

$$ESV_f=\sum_{i=1}^{n}(A_k \times VC_{fk}) \quad (6)$$

$$VC_k=\sum_{i=1}^{n}(EC_f \times E_a) \quad (7)$$

式中：ESV和ESV_f分别为生态系统服务价值和第f项生态系统服务功能价值（元）；A_k为第k类土地利用类型的面积（km^2）；VC_k和VC_{fk}分别为第k类土地利用类型的生态系统服务价值系数和其对应的第f种服务功能价值系数；EC_f为第f种生态系统服务价值当量因子；E_a为生态系统服务价值当量因子价值量，即14.702×10^4元·km^{-2}。

1.4.2　生态风险评价体系　在景观生态学中，景观样本面积应为斑块平均面积的2~5倍，才能更好地反映采样区周围景观的格局信息[30]。研究区3期土地利用景观的平均斑块面积在0.3~0.4 km^2之间，为有效识别研究区土地利用可能存在的生态风险，从而优化土地利用景观结构，基于网格采样法构建土地利用与生态风险之间的关系模型[31][式(8)]，根据研究区范围，运用0.60 km×0.60 km的正方形单元网格进行等间距采样，共划分风险小区39693个。

$$ERI_i=\sum_{i=1}^{N}\frac{A_{ki}}{A_k}R_i \quad (8)$$

式中：ERI_i为风险小区i的生态风险指数，与生态风险程度成正比；A_{ki}为第k个风险小区中i种地类的面积（km^2）；A_k为第k个风险小区的面积（km^2）；R_i为第i种地类的景观损失度指数[32-33]，表示各地类受到干扰时生态损失的差异，即其自然属性的损失程度，计算公式如下：

$$R_i=S_i \times V_i \quad (9)$$

式中：S_i为景观干扰度指数[33]；V_i为景观脆弱度指数[33]。

2　结果与分析

2.1　土地利用冲突时空特征及其生态响应

2.1.1　土地利用冲突时空演变特征　利用ArcGIS软件中自然断裂法对土地利用冲突类型进行分级，分别为：无冲突（0.00, 0.30）、轻度冲突[0.30, 0.36）、中度冲突[0.36, 0.42）、高度冲突[0.42, 0.50）、重度冲突[0.50, 1.00）。由于现有研究对土地利用冲突分级精度评价方法还较少，因此引用Kappa系数对土地利用冲突分级进行精度和一致性评价[34]，得出Kappa系数最小值为0.75，满足研究要求（表2）。

2000—2010年乌鲁木齐市土地利用冲突总体呈上升趋势，2010—2020年冲突状况有所减缓，处于基本可控状态（图5、图6）。具体而言，无冲突区域面积呈逐年减少态势，其面积占比从2000年的

表1　各土地利用类型单位面积生态系统服务价值系数

Tab. 1　Ecosystem service value coefficient per unit area of each land use type　/10^4元·km^{-2}

一级类型	二级类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
供给服务	食物生产	12.50	3.23	1.47	11.76	0.00	0.15
	原料生产	5.88	7.65	2.06	3.38	0.00	0.44
调节服务	水资源供给	0.29	3.97	1.18	121.88	0.00	0.29
	气体调节	9.85	24.99	7.50	11.32	0.29	1.62
	气候调节	5.29	74.54	19.70	33.67	0.00	1.47
	净化环境	1.47	21.91	6.47	81.60	1.47	4.56
	水文调节	3.97	49.10	14.41	1503.13	0.44	3.09
支持服务	土壤保持	15.14	30.29	9.12	13.67	0.29	1.91
	维持养分循环	1.76	2.35	0.74	1.03	0.00	0.15
	生物多样性	1.91	27.64	8.23	37.49	0.29	1.76
文化服务	美学景观	0.88	12.06	3.68	27.79	0.15	0.74
合计		58.96	257.73	74.54	1846.72	2.94	16.17

表2 土地利用冲突分级Kappa系数

Tab. 2 Kappa coefficient of land use conflict classification

年份	无冲突	轻度冲突	中度冲突	高度冲突	重度冲突
2000	0.84	0.75	0.80	0.76	0.79
2010	0.87	0.80	0.78	0.79	0.76
2020	0.85	0.79	0.89	0.82	0.76

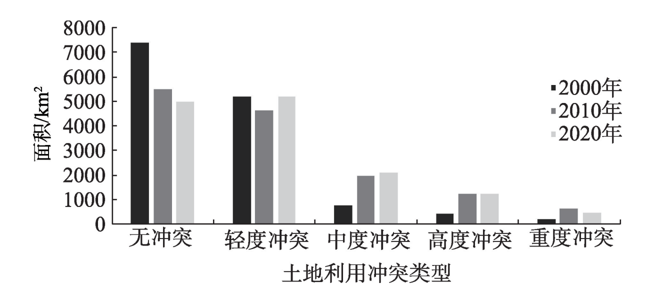


图5 土地利用冲突各冲突类型面积变化

Fig. 5 Changes in the area of land use conflict types

52.85%，减少至2020年的35.77%。轻度冲突区域面积呈先减后增态势，即2000—2010年轻度冲突区域面积减少了563.76 km²，2010—2020年增加了584.64 km²，但整体呈小幅度增加趋势，20 a间净增加量为20.88 km²，无冲突和轻度冲突区域占乌鲁木齐市73%以上的面积，一跃成为乌鲁木齐市的首要冲突类型。中度冲突区域面积呈逐年上升态势，近20 a增加了1321.92 km²。高度冲突及重度冲突区域变化趋势一致，均在经历了2000—2010年的增加后，再开始出现下降，但整体上高度冲突及重度冲突区域明显增加。其中，高度冲突是20 a间增幅最大的冲突类型，高达187.35%。

2.1.2 土地利用冲突局部空间异质性分析 乌鲁木齐市土地利用冲突冷热点分析结果显示，2000—2010年，土地利用冲突热点区与2010年高冲突聚集区增加的区域高度吻合，在中心城区北部及西南部显著聚集。至2010—2020年，热点区范围进一步扩张，蔓延至南部及北部山区林地周边及达坂城区盐湖两侧冲积扇附近。土地利用冲突冷点区与高冲突聚集区的下降方向一致，主要集中在城市周边及东部和南部山地森林地带。这是因为冷点的内部用地类型趋于同质化，斑块的复杂性下降，冲突得到了缓解(图7)。

区域土地利用冲突综合指数作为一种空间变量，具有结构性和随机性的空间变化特征[31-32]。因此，根据乌鲁木齐市的实际情况，可以通过地统计学中半方差函数进一步探索土地利用冲突空间分异的主导因素(表3)。土地利用冲突空间异质性由结构性因素和随机性因素综合作用决定，随机性因素包括人为活动等因素，结构性因素包括气候等因素[35]。块金值/基台值[$C_0/(C_0+C)$]<0.20，表明变量空间自相关性较强，空间异质性则由结构性因素引起；$C_0/(C_0+C)$>0.70，表明变量空间自相关性很弱，空间异质性由随机性因素引起；$C_0/(C_0+C)$在0.20~0.70之间，表明变量空间自相关性中等。结果表明：2000—2020年$C_0/(C_0+C)$维持在0.21~0.49之间且呈增加趋势，说明在600 m以下的小尺度上，气候、地形地貌等自然因素仍然是该研究区土地利用冲突强度空间分异的主导因素。乌鲁木齐河下游冲积平原的水热条件适合作物生长，是当地人们社会活动以及经济发展的主要地区。因此，初期土地利用冲突主要发生在这些区域。但后期，由于引导与调控生态保护与社会经济发展的用地需求，使土地利用冲突在小尺度上的随机变异程度在不断加大，从而降低了自然因素对土地利用冲突的影响。

2.1.3 土地利用冲突对生态系统服务价值的响应 双变量空间自相关(Bivariate Moran's *I*)可以用来揭示

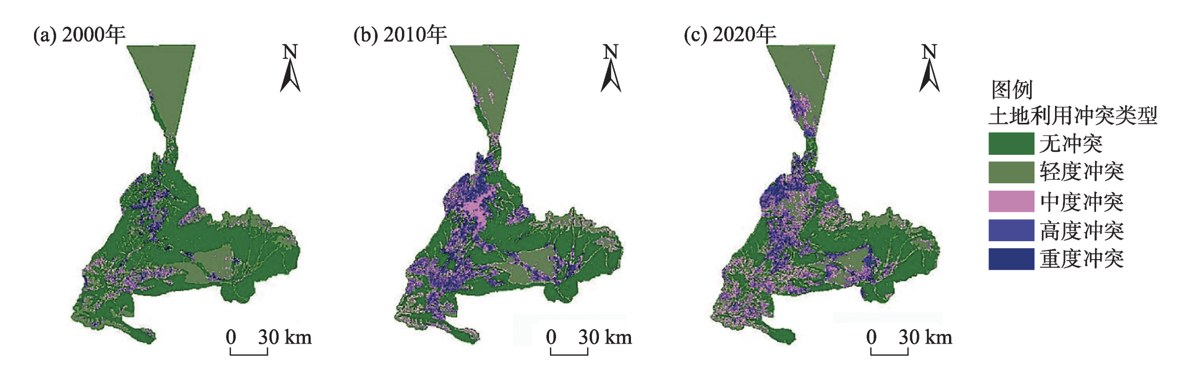


图6 土地利用冲突类型分布格局

Fig. 6 Distribution pattern of land use conflict types

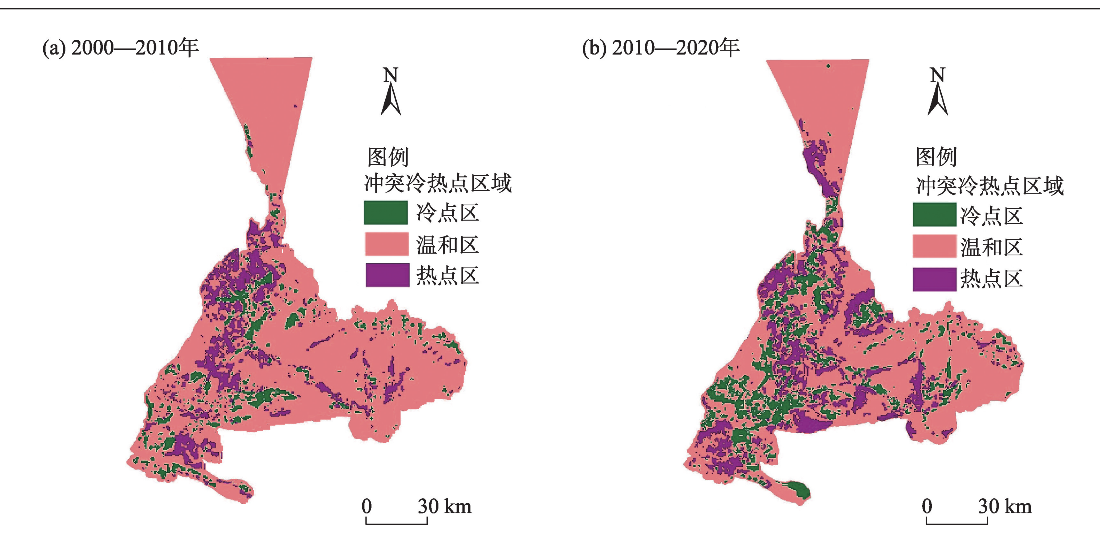


图7　土地利用冲突冷热点时空演化

Fig. 7　Temporal and spatial evolution of cold and hot spots of land use conflict

表3　土地利用冲突变异函数的拟合模型参数

Tab. 3　Fitting model parameters of land use conflict variance functions

年份	拟合模型	块金值(C_0)	基台值(C_0+C)	C_0/(C_0+C)	变程(A_0)	决定系数(R^2)	残差(RSS)/10^{-7}
2000	指数	0.00107	0.00499	0.2144	18600	0.7970	6.5430
2010	高斯	0.00284	0.00672	0.4226	39000	0.9490	3.9990
2020	指数	0.00267	0.00546	0.4890	19900	0.9810	1.1400

空间单元属性值与邻近空间上其他属性值的相关性[36]，对土地利用冲突与生态系统服务价值的双变量空间自相关计算结果表明，东部、南部山区林地较多的区域，虽是生态系统服务价值中高值区，但由于林地与草地的自然生态更替以及人为干扰等因素，导致土地利用结构趋于不稳定，容易形成土地利用冲突。因此，该区域与重度冲突聚集的区域有着较强的空间正相关，表现为高-高聚集特征。自2010年起，在生态保护政策的实施下，高-高聚集区减少显著，仅在天山区的乌拉泊湿地附近有所增加(图8)。低-低聚集区分布最广，是生态系统服务价值中值区与无冲突聚集区呈现空间正相关较强的区域，空间分布与草地区域相吻合，聚集区域有明显增加。低-高聚集区是生态系统服务价值低值区与冲突高值聚集区，具有较强的空间负相关，主要分布于中心城区，2010年起向中心城区周边扩散，在乌鲁木齐县及达坂城区有明显增加。高-低聚集区是生态服务价值高值区与冲突低值区，主要分布在乌鲁木齐县和达坂城区的林地区域。

2.1.4　土地利用冲突对生态风险的响应　土地利用冲突与生态风险的双变量Lisa聚类图表明，草地作为高生态风险区，与无冲突聚集区有着较强的空间负相关，表现为高-低聚集特征，并呈现出逐年减少的变化趋势，但在东部山区有所增加。低-高聚集区在2010年向中心城区北部扩散，且在乌鲁木齐县的建设用地周边有明显增加。2020年东部及南部山区的低-高聚集区则明显减少，高-高聚集零星分布在低-高聚集附近。低-低聚集区少量分布在乌鲁木齐县和达坂城区的林地周围(图9)。

2.2　土地利用冲突空间预测模拟

2030年乌鲁木齐市土地利用冲突综合指数模拟结果表明，土地利用冲突空间分布与2020年相似，整体上仍以无冲突区域和轻度冲突区域为主。无冲突区域增加了788.40 km²，说明乌鲁木齐市土地利用冲突状况整体有所改善。但高度冲突和重度冲突区域面积分别增加了194.40 km²、740.52 km²，说明乌鲁木齐市局部土地利用冲突状况加重。重度冲突区域面积最多，达1178.64 km²，主要在中心城区北部及南部集约经营的耕地范围内有明显的团状聚集(图10、图11)。

对2020—2030年土地利用冲突的空间演变特征进行冷热点分析(图12)，结果表明，由于建设用

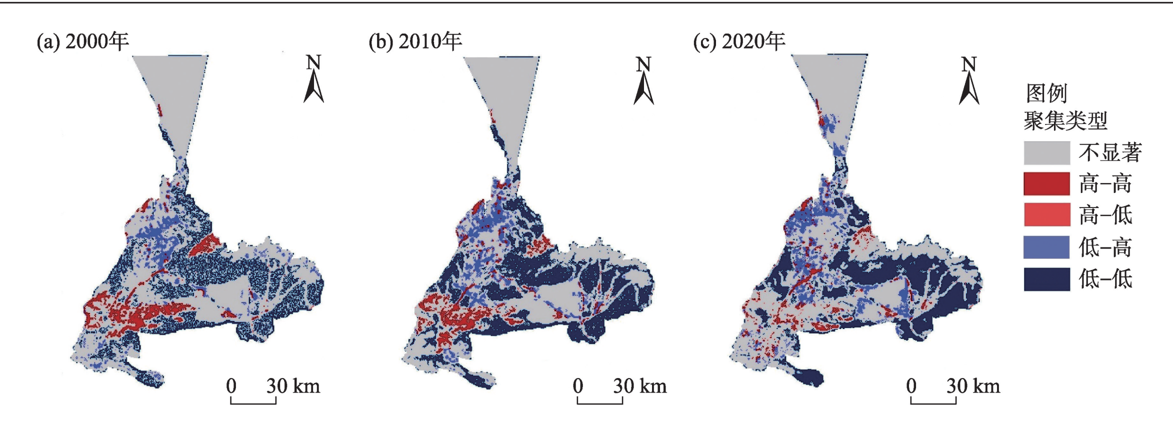


图8 生态系统服务价值与土地利用冲突的双变量Lisa聚集图

Fig. 8 Bivariate Lisa aggregation diagram of ecosystem service value and land use conflict

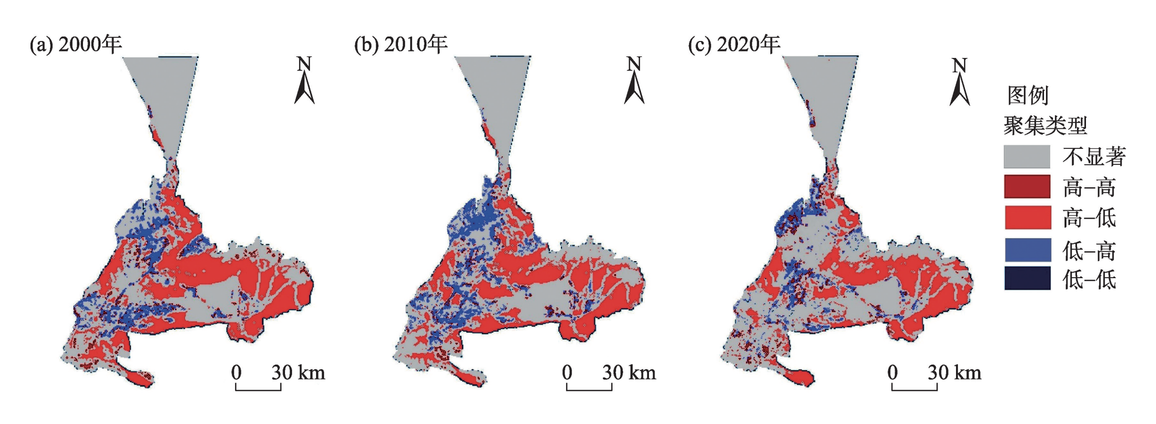


图9 土地利用生态风险与冲突的双变量Lisa聚集图

Fig. 9 Bivariate Lisa aggregation diagram of land use ecological risks and conflicts

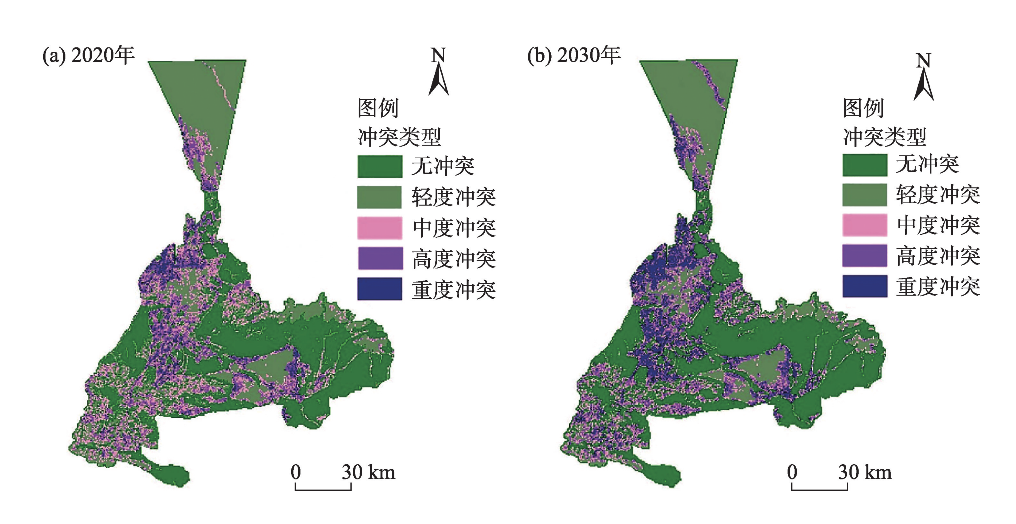


图10 2020—2030年土地利用冲突格局分布

Fig. 10 Distribution of land use conflict pattern from 2020 to 2030

地向周围的草地、耕地进行扩张，导致建设用地周围土地地类的稳定性和连通性变差，使得热点区域主要出现在建设用地和山区林地周围，但面积将会减少；冷点区域受到生态交替影响，主要分布在盐湖、柴窝堡湖及山区林地周围。

3 讨论

随着城市化进程不断推进，研究区土地利用冲突虽有上升趋势，但在《乌鲁木齐市城市总体规划(2011—2020年)》引导下，乌鲁木齐市城市用地“南

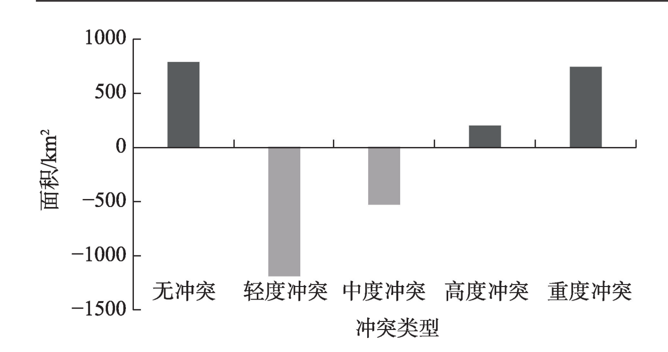


图11　2020—2030年土地利用冲突变化情况

Fig. 11　Changes in land use conflicts from 2020 to 2030

控、北扩、先两延、后东进”的空间布局，对土地利用冲突还是产生了明显调控成效，使得冲突状况有所减缓，处于基本可控状态，这与田柳兰等[37]、王珊珊等[38]的研究结果具有一致性。在2030年土地利用冲突综合指数预测中，虽然研究区土地利用冲突状况整体有进一步改善，但局部高度冲突和重度冲突区域面积还是会有所加重，尤其是在中心城区北部及南部集约经营的耕地范围内有明显的团状聚集。为此，应按照生态功能不降低、面积不减少、性质不改变的思路，对已划定的生态保护红线实施严格管控。确保乌鲁木齐河、水磨河、柴窝堡湖最小生态流量、水面面积及湿地面积逐步恢复，各流域生态功能保持不退化，有效管控环境风险。在资源利用上，严格按照国家、自治区下达的《新疆生态环境保护“十四五”规划》中总量和强度控制目标，提高资源利用效率。同时，将饮用水源保护、生态空间维护为主的水源涵养和水土保持等生态功能单元设置为优先保护区；将城镇建成区、工业园区和开发强度大、污染物排放强度高的工业聚集区及存在环境风险的区域设置为重点管控区。通过实施分类管控，科学协调“城市建设-农业生产-生态保护”的各类土地利用需求，有效降低土地利用冲突的发生。

土地利用冲突是多重因素作用的结果，在探究乌鲁木齐市的生态风险、生态系统服务价值与土地利用冲突的叠加响应中，发现生态风险、生态系统服务价值与土地利用冲突的耦合响应关系在空间上差异明显。建设空间和生态空间呈现高水平耦合，使土地利用空间冲突重度冲突增加过程中，生态风险、生态系统服务价值也在增加；低水平耦合零散分布于农业空间之中，即土地利用空间冲突的变化对生态风险、生态系统服务价值几乎没有影响，且当生态风险、生态系统服务价值发生变化时，土地利用空间发生冲突概率几乎不会被带动。生态与土地利用和谐发展会相互促进，在提高生态安全水平的同时，土地利用冲突的强度也随之降低；二者发展的速度不一致不协调，则会相互制约，成为彼此发展的障碍。相对而言，土地利用冲突对生态安全有着更直接、更明显的带动且存在高度的正相关。因此，在后续研究过程中应结合土地利用冲突的内涵，从具体生态过程着手，剖析土地利用冲突时空演变的影响因素及驱动机制，寻求城镇、农业及生态三者间的平衡发展策略，解决当前完善城镇化空间布局、提升生态系统质量和稳定性、保持农业空间正常发展，针对国土空间规划和用途，科

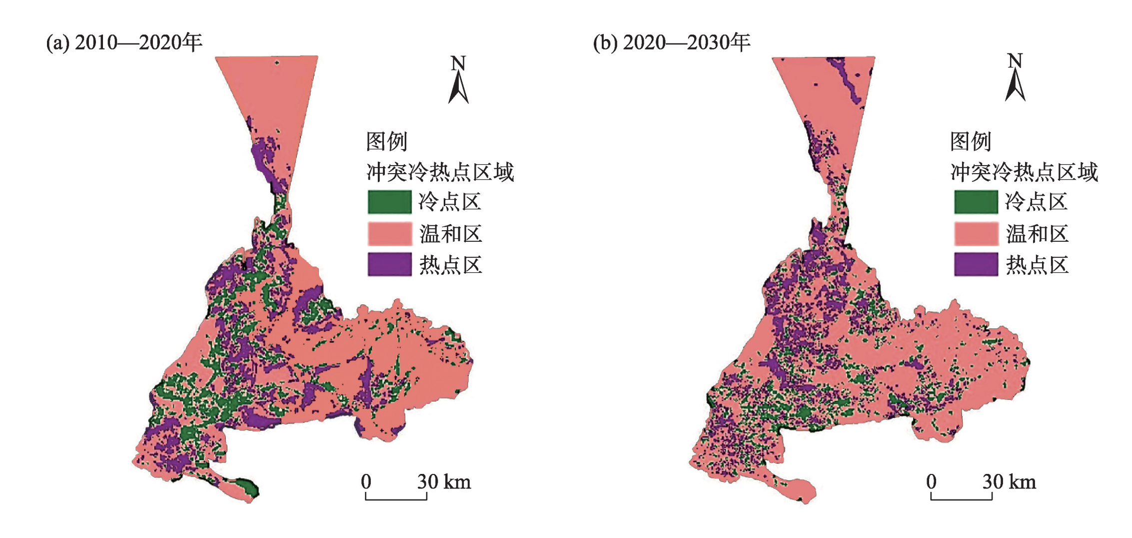


图12　2010—2030年土地利用冲突冷热点时空演化

Fig. 12　Temporal and spatial evolution of cold and hot spots of land use conflics from 2010 to 2030

学划定落实生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界等;建立健全土地利用风险评估预警和处置机制,提升土地利用、生态安全的监管和风险防范能力。

4 结 论

(1) 2000—2020年,乌鲁木齐市73%以上的面积是无冲突和轻度冲突区域,土地利用冲突面积虽呈逐年增加趋势,但土地利用冲突情况基本可控。土地利用冲突的热点区主要聚集于乌鲁木齐市中心城区北部及西南地区,包括山区林地周边、达坂城区盐湖两边的冲积扇附近;冷点区主要聚集于中心城区周边以及东、南部的山区林地范围内。

(2) 自然因素如气候等自然因素仍然是土地利用冲突强度空间分异的主导因素,但在生态保护和社会经济发展用地需求的调控下,土地利用冲突在小尺度上的随机变异程度不断加大,从而降低了自然因素对土地利用冲突的影响。

(3) 生态系统服务价值与土地利用冲突之间存在空间正相关,而生态风险与土地利用冲突之间则存在显著的空间负相关关系。

(4) 2030年乌鲁木齐市各土地利用类型面积总体呈现"三升三降"的变化趋势,建设用地、林地、水域面积持续增加,草地、耕地、未利用地面积持续减少。无冲突、轻度冲突区面积占比最大,高度、重度冲突区有所增加,且高度冲突区增幅最大。

参考文献(References)

[1] Zhao S D, Zhang Y M. Ecosystems and human well-being: The achievements, contributions and prospects of the millennium ecosystem assessment[J]. Advances in Earth Science, 2006, 21(9): 895-902.

[2] Pacheco F. Sustainable use of soils and water: The role of environmental land use conflicts[J]. Sustainability, 2020, 12(3): 1163, doi: 10.3390/su12031163

[3] Fmpm A, Tm B. From conflict to conflicts: War-induced displacement, land conflicts, and agricultural productivity in post-war northern Uganda[J]. Land Use Policy, 2020, 101: 105149, doi: 10.1016/j.landusepol.2020.105149.

[4] Owens P L. Conflict as a social interaction process in environment and behaviour research: The example of leisure and recreation research[J]. Journal of Environmental Psychology, 1985, 5(3): 243-259.

[5] Jiang S, Meng J, Zhu L. Spatial and temporal analyses of potential land use conflict under the constraints of water resources in the middle reaches of the Heihe River[J]. Land Use Policy, 2020, 97: 104-773.

[6] Cendrero A. Land-use problems, planning and management in the coastal zone: An introduction[J]. Ocean & Shoreline Management, 1989, 12(5-6): 367-381.

[7] Groot D. Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes[J]. Landscape Urban Plan, 2006, 75(3-4): 175-186.

[8] Tudor C A, Iojă I C, Pătru-Stupariu I, et al. How successful is the resolution of land-use conflicts? A comparison of cases from Switzerland and Romania[J]. Applied Geography, 2014, 47(1): 125-136.

[9] Ruth S D F, Jonathan A F, Gregory P A. Land-use choices: Balancing human needs and ecosystem function[J]. The Ecological Society of America, 2004, 2(5): 249-257.

[10] 于伯华, 吕昌河. 土地利用冲突分析: 概念与方法[J]. 地理科学进展, 2006, 25(3): 106-115. [Yu Bohua, Lü Changhe. The progress and prospect of land use conflicts[J]. Progress in Geographical Sciences, 2006, 25(3): 106-115.]

[11] Campbell D J, Gichohi H, Mwangi A, et al. Land use conflict in Kajiado District, Kenya[J]. Land Use Policy, 2000, 17(4): 337-348.

[12] 陈文慧, 刘庆, 朱红梅, 等. 快速城市化进程中土地利用冲突时空演化特征与模拟预测——以长株潭城市群为例[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(9): 286-291. [Chen Wenhui, Liu Qing, Zhu Hongmei, et al. Spatial-temporal evolution characteristics and simulation prediction of land use conflict in the process of rapid urbanization: A case study of Changsha Zhuzhou Xiangtan urban agglomeration[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(9): 286-291.]

[13] Xiao D N, Chen W B, Guo F L. On the basic concepts and contents of ecological security[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(3): 354-358.

[14] 常宇茜. 生态安全视角下河南镇平县土地利用冲突识别与分区调控研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2022. [Chang Yuxi. Research on land use conflict identification and zoning regulation in Zhenping County, Henan Province from the perspective of ecological security[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2022.]

[15] 杨永芳, 朱连奇. 土地利用冲突的理论与诊断方法[J]. 资源科学, 2012, 34(6): 1134-1141. [Yang Yongfang, Zhu Lianqi. The theory and diagnostic methods of land use conflicts[J]. Resource Science, 2012, 34(6): 1134-1141.]

[16] Hammond A, Adriaanse A, Rodenburg E, et al. Environmental in dicators: A systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development[M]. Washington D C: World Resource Institute, 1995.

[17] 彭佳捷, 周国华, 唐承丽, 等. 基于生态安全的快速城市化地区空间冲突测度——以长株潭城市群为例[J]. 自然资源学报, 2012, 27(9): 1507-1519. [Peng Jiajie, Zhou Guohua, Tang Chengli, et al. The analysis of spatial conflict measurement in fast urbanization region based on ecological security: A case study of Changsha Zhuzhou Xiangtan urban agglomeration[J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(9): 1507-1519.]

[18] 吴金华, 刘思雨, 白帅. 基于景观生态安全的神木市生态廊道识别与优化[J]. 干旱区研究, 2021, 38(4): 1120-1127. [Wu Jinhua, Liu Siyu, Bai Shuai. Identification and optimization of ecological corridors in Shenmu City based on landscape ecological security [J]. Arid Zone Research, 2021, 38(4): 1120-1127.]

[19] 冯长春, 曹敏政, 谢婷婷. 不同生态保育尺度下铜陵市土地利用结构优化[J]. 地理研究, 2014, 33(12): 2217-2227. [Feng Changchun, Cao Minzheng, Xie Tingting. Optimization of land use structure in Tongling City based on different ecological conservation scales[J]. Geography Research, 2014, 33(12): 2217-2227.]

[20] 杨晓辉. 城市土地再开发过程中的利益冲突与规划调控策略研究[D]. 苏州: 苏州科技学院, 2014. [Yang Xiaohui. The strategy analysis of profit conflict and planning regulation in the progress of redevelopment of urban land[D]. Suzhou: Suzhou University of Science and Technology, 2014.]

[21] 徐馨裔, 刘志有, 董露, 等. 国土空间规划视角下产业结构与土地利用结构相互关系研究——以新疆乌鲁木齐市为例[J]. 生态经济, 2020, 36(4): 69-74. [Xu Xinyi, Liu Zhiyou, Dong Lu, et al. Research on the mutual relationship between industrial structure and land utilization structure from the perspective of national land space planning: Taking Urumqi of Xinjiang as an example[J]. Ecological Economy, 2020, 36(4): 69-74.]

[22] Ma W, Jiang G, Chen Y, et al. How feasible is regional integration for reconciling land use conflicts across the urban-rural interface? Evidence from Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region in China [J]. Land Use Policy, 2020, 92, doi: 10.1016/j.landusepol.2019.104433.

[23] Adger W N. Vulnerability[J]. Global Environmental Change, 2006, 16(3): 268-281.

[24] 蔡运龙, 李军. 土地利用可持续性的度量——一种显示过程的综合方法[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 305-313. [Cai Yunlong, Li Jun. Measurement of land use sustainability: A comprehensive method representing processes[J]. Acta Geography Sinca, 2003, 58 (2): 305-313.]

[25] 裴彬, 潘韬. 土地利用系统动态变化模拟研究进展[J]. 地理科学进展, 2010, 29(9): 1060-1066. [Pei Bin, Pan Tao. Land use system dynamic modeling: Literature review and future research direction in China[J]. Progress in Geography, 2010, 29(9): 1060-1066.]

[26] 周子鑫, 朱传耿. 我国区域空间整合研究进展与展望[J]. 地域研究与开发, 2009, 28(5): 1-5. [Zhou Zixin, Zhu Chuangeng. Recent progress of studies on the regional spatial integration and its prospects in China[J]. Areal Research and Development, 2009, 28 (5): 1-5.]

[27] Qian Y, Xing W, Guan X, et al. Coupling cellular automata with area partitioning and spatiotemporal convolution for dynamic land use change simulation[J]. Science of the Total Environment, 2020, 722: 137738, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137738.

[28] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254. [Xie Gaodi, Zhang Caixia, Zhang Leiming, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. Journal of Natural Resource, 2015, 30 (8): 1243-1254.]

[29] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值[J]. 资源科学, 2015, 37(9): 1740-1746. [Xie Gaodi, Zhang Caixia, Zhang Changshun, et al. The value of ecosystem services in China[J]. Resource Science, 2015, 37(9): 1740-1746.]

[30] O'Neill R V, Hunsaker C T, Timmins S P, et al. Scale problems in reporting landscape pattern at the regional scale[J]. Landscape Ecology, 1996, 11: 169-180.

[31] 王玲. 基于土地利用变化的上海市生态风险评价[J]. 农业科学研究, 2018, 39(1): 10-16. [Wang Ling. Ecological risk assessment based on land use change in Shanghai City[J]. Journal of Agricultural Sciences, 2018, 39(1): 10-16.]

[32] 巩杰, 赵彩霞, 谢余初, 等. 基于景观格局的甘肃白龙江流域生态风险评价与管理[J]. 应用生态学报, 2014, 25(7): 2041-2048. [Gong Jie, Zhao Caixia, Xie Yuchu, et al. Ecological risk assessment and its management of Bailongjiang watershed, southern Gansu based on landscape pattern[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(7): 2041-2048.]

[33] 肖琳, 田光进. 天津市土地利用生态风险评价[J]. 生态学杂志, 2014, 33(2): 469-476. [Xiao Lin, Tian Guangjin. Eco-risk assessment of land use in Tianjin City[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(2): 469-476.]

[34] 田苗, 王鹏新, 严泰来, 等. Kappa系数的修正及在干旱预测精度及一致性评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24): 1-7. [Tian Miao, Wang Pengxin, Yan Tailai, et al. Adjustment of Kappa coefficient and its application in precision and agreement evaluation of drought forecasting models[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(24): 1-7.]

[35] 王国杰, 廖善刚. 土地利用强度变化的空间异质性研究[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 4611-4614. [Wang Guojie, Liao Shangang. Spatial heterogeneity of land use intensity[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(4): 4611-4614.]

[36] 唐宏, 乔旭宁, 杨德刚, 等. 土地利用变化时空特征与区域发展关系研究——以渭干河流域为例[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(3): 205-213. [Tang Hong, Qiao Xuning, Yang Degang, et al. Characteristics of temporal and spatial dynamic changes of land use and their relationship with regional development: Case study in the Weigan River Basin[J]. Agricultural Research the Arid Areas, 2012, 30(3): 205-213.]

[37] 田柳兰, 王珊珊, 毋兆鹏. 基于多时相遥感数据的乌鲁木齐市生态安全格局构建[J]. 干旱区地理, 2023, 46(7): 1155-1165. [Tian Liulan, Wang Shanshan, Wu Zhaopeng. Construction of ecological security pattern in Urumqi based on multi-temporal remote sensing data[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(7): 1155-1165.]

[38] 王珊珊, 毋兆鹏. 基于生态安全的乌鲁木齐市土地利用冲突识别[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(1): 46-53. [Wang Shanshan, Wu Zhaopeng. Identification of land use conflicts based on ecological security in Urumqi City[J]. Hubei Agricultural Science, 2022, 61(1): 46-53.]

Spatiotemporal pattern evolution of land use conflict in Urumqi City from the perspective of ecological security

PENG Ya[1], WANG Juanjuan[2], WANG Shanshan[3],
TIAN Liulan[1], LIU Jie[1,4], WU Zhaopeng[1,4]

(1. School of Geographical Sciences and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, Xinjiang, China; 2. Bureau of Natural Resources, Changji Hui Autonomous Prefecture, Changji 831100, Xinjiang, China; 3. Secondary Art School Affiliated with Xinjiang Art Institute, Urumqi 830054, Xinjiang, China; 4. Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Regions of Xinjiang, Urumqi 830054, Xinjiang, China)

Abstract: It is crucial to identify regional land use conflicts from the perspective of ecological security and effectively manage the coordination between urban development and land use. This study develops a land use conflict measurement model within the theoretical analysis framework of land use conflict and the pressure-state-response model, incorporating ecosystem service value and ecological risk evaluation factors. The spatiotemporal evolution patterns of land use conflict in Urumqi City, Xinjiang, China, for 2000, 2010, and 2020 are analyzed. Furthermore, the future land use simulation model is employed to simulate and predict changes in land use conflict by 2030. The results indicate the following: (1) From 2000 to 2020, more than 73% of Urumqi's area was conflict-free or mildly conflicted. During this period, hotspots of land use conflicts expanded from the northern and southwestern areas of Urumqi City to mountainous woodlands in the northern and southern regions, as well as near alluvial fans on both sides of Dabancheng District's salt lake. The cold spot areas were primarily concentrated in the central urban region and within the mountainous woodland areas in the eastern and southern parts. (2) Natural factors such as climate, topography, and geomorphology remain the predominant drivers of spatial variations in land use conflict intensity. (3) A positive spatial correlation exists between the value of ecosystem services and land use conflict, whereas a significant negative spatial correlation exists between ecological risk and land use conflict. (4) In 2030, despite the substantial increase in Urumqi's land use zones with a high conflict rate, areas characterized by minimal or no conflicts continue to maintain their dominant position. This study provides a diagnostic index system and methodology for analyzing the Urumqi land use conflict, and serves as an example and offers scientific support for an in-depth understanding of the spatiotemporal evolution characteristics and conflict mechanism of the Urumqi land use conflict.

Key words: land use conflict; ecosystem service value; ecological risk; FLUS model; Urumqi City